

Ein Beitrag zur Bestimmung der zur Einhaltung bestimmten Messunsicherheiten erforderlichen Anzahl von Messpunkten bei der Bestimmung der Schalleistung nach einem Hüllflächenverfahren

Gerhard Hübner, David Kandelaki

ITSM, Universität Stuttgart, D-70564 Stuttgart, Germany, <http://www.itsm.uni-stuttgart.de>

Einleitung

Wie bekannt, setzt sich die Unsicherheit eines Messergebnisses aus mehreren Teilkomponenten verschiedener Verursachungen zusammen. Für die Messung der Luft-Schalleistung von Maschinen und Geräten nach einem Hüllflächenverfahren wurde die grundlegende Analyse einer diesbezüglichen Zerlegung der Gesamt-Messunsicherheit bereits 1973 veröffentlicht [1]. Besitzt man die einer individuellen Messung zugehörigen Zahlenwerte aller Messunsicherheitskomponenten und damit auch deren Rangordnung, so kann die Reduzierung des Messaufwandes bei der größten Messunsicherheitskomponente beginnend entsprechend optimiert werden. Das setzt allerdings die Kenntnis von Beziehungen voraus, durch die diese Teilkomponente aus den aktuellen Messdaten berechnet werden können.

Hierzu besteht zur Zeit für verschiedene diese Unsicherheitskomponente der akustischen Messtechnik noch erheblicher Forschungsbedarf. Eine diese Komponente ist Gegenstand dieses Beitrags. Dass wir uns mit diesen Fragen zu beschäftigen haben, dient nun aber keinesfalls allein der zuvor angesprochenen Messaufwandsoptimierung sondern ist vielmehr eine Forderung von GUM (= „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“), wonach jede Art von Gesamtmessunsicherheit in die vorgenannten Teilkomponenten aufgesplittet anzugeben ist [2].

Wissensstand über die durch eine endliche Zahl von Messpunkten bedingte Messunsicherheitskomponente der Schalleistungshüllflächenverfahren.

ISO 3744/45/46 und auch ISO 9614 geben Beziehungen für die Bestimmung der Messpunktzahl N als Funktion von der auf der Messfläche angetroffenen Schallfeldungleichförmigkeit K und einer vorgegebenen oberen Messunsicherheitsgrenze ΔL der zu bestimmenden Schalleistung an. Diese Beziehungen, wie auch die Definition der zugehörigen Ungleichförmigkeits-Indikatoren K sind in den vorgenannten beiden Normenpaketen grundlegend verschieden, was aber nicht dem Messgrößenunterschied: Schalldruckquadrat \leftrightarrow Schallintensität I_n zugeordnet werden kann. Beiden Beziehungen ist allerdings gemeinsam, dass nichtkorrelierte Messdaten vorausgesetzt sind und dass diese Beziehungen als nicht überprüft betrachtet werden müssen. Die Korrelationsfrage wurde bereits anhand einige Schallfelder untersucht und anlässlich von DAGA 04, Strassburg, [3] dazu berichtet, dass Zweifel an der Annahme nichtkorrelierter Messdaten anzumelden sind. Für eine Messgröße X , die beim Schalldruckhüllflächenverfahren

durch $\frac{(\rho c)_0 \tilde{p}^2}{\rho c p_0^2}$ und beim Intensitätsverfahren durch die

flächennormale Komponente I_n / I_0 im jeweiligen Frequenzband dargestellt ist, ist im Einzelnen nach

$$\text{ISO 9614:} \quad N \geq C^2 \cdot K_{N,1}^2 \quad (1)$$

$$\text{ISO 3744:} \quad N \geq \alpha \cdot K_{N,d} / \text{dB} \quad (2)$$

und als neuer Ansatz

$$\text{„neu“:} \quad N \geq C \cdot K_{N,1} \quad (3)$$

$$\text{mit } C = \frac{1,96}{1 - 10^{-0,1 \Delta L / \text{dB}}} \quad (4)$$

$$\alpha = 1 \quad \text{für Klasse 2. Messung} \quad (5)$$

und als Ungleichförmigkeitsindikator der Messgröße X_i

$$K_{N,1} = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (6)$$

$$K_{N,d} = (L_{p,\max} - L_{p,\min}) \text{ dB} \quad (7)$$

wobei ferner $10 \lg \bar{X} \pm \Delta L$ den zweiseitigen Vertrauensbereich des Pegels des Mittelwerts \bar{X} zum Vertrauensniveau von 95% beschreibt. $L_{p,\max}$ und $L_{p,\min}$ sind die auf der Hüllfläche bei N -Stichproben angetroffenen Höchst- und Niedrigwerte der Schalldruckpegel und \bar{X} die (linearen) Mittelwerte der über N -Messpunkte der Hüllfläche erhaltenen X_i (vergleichen hierzu auch [4]).

Testprogramm und erste Ergebnisse

Die Gleichungen (1), (3) mit (4) und (6) lassen sich auf die Abweichungen ΔL entwickeln

$$\text{ISO 9614:} \quad \Delta L = -10 \lg \left(1 - \frac{1,96}{\sqrt{N}} K_{N,1} \right) \text{ dB} \quad (8)$$

„neu“ :

$$\Delta L = -10 \lg \left(1 - \frac{1,96}{N} K_{N,1} \right) \text{ dB} \quad (9)$$

und für die N -Komponentenanteil an der Gesamtmessunsicherheit von ISO 3744 wird mit $\Delta L_{\text{ges}} = 1,5 \text{ dB}$ im Bereich „mittlerer Frequenzen“

$$\text{ISO 3744:} \quad \Delta L = 0,5 \text{ dB} \quad \text{für } N = K_{N,d} / \text{dB} \text{ angesetzt} \quad (10)$$

Mit den Darstellungen der Gln. (8), (9), (10) lassen sich nun die betreffenden Regeln gut definiert überprüfen.

Für ein **Modellschallfeld**, hier das Schallfeld einer eingebettet schwingenden quadratischen Platte der Abmessungen $L \times L$ verschiedener Schwingungsordnungen n

und Frequenzen $k_L L$ ist der wahre Mittelwert der X auf einer Hüllfläche durch das Integral $\bar{X} = \frac{1}{S} \oint_S X dS$ und dessen

Pegelwert $\bar{L}_{X,wahr}$ exakt berechenbar wie auch der Pegelwert $\bar{L}_{X,N}$ des Mittelwertes \bar{X}_N , der sich aus den N Stichproben (Messungen) ergibt. Die damit bestimmte Abweichung („wahrer Messfehler“)

$$\Delta L_{N,wahr} = \bar{L}_{X,N} - \bar{L}_{X,wahr} \quad (11)$$

wird dann direkt den nach Gln. (8), (9), (10) unabhängig hier von berechneten Werten gegenübergestellt (Bild 1).

Schließlich lässt sich die Güte der vorgenannten drei ΔL -Bestimmungsgleichungen auch rein **experimentell** prüfen, indem an Stelle des zuvor durch exakte Integration bestimmten wahren Mittelwertes bzw. dessen Pegel $\bar{L}_{X,wahr}$ ein Mittelwert $\bar{L}_{X,N,gross}$, hier bei der Viertelkreisabtastung mit $N=128$ als Referenz verwendet wird:

$$\Delta L_{N,wahr}^{exp} = \bar{L}_{X,N}^{exp} - \bar{L}_{X,128}^{exp} \quad (12)$$

Auch die so ermittelten Bezugs-Abweichungen verglichen mit den zugehörigen Ergebnissen nach Gln. (8), (9), (10) sind dann deren Beurteilungs-Grundlage.

Diese experimentellen Überprüfungen wurden in den Schallfeldern

- einer mit Multisinus angeregten kleinen Maschinenkapsel und
- einer aerodynamischen $\bar{\Delta L}_N^{exp}$ -Schallquelle durchgeführt.

Einige allererste Ergebnisse dieser Gegenüberstellungen für die Felder der schwingenden Platte wie auch von den Messungen an dem Kapselfeld und der aerodynamischen Schallquelle werden nachfolgend mitgeteilt. Es ist im weiteren geplant, auch Messungen an diesen Schallquellen mit Störschall, unter verschiedenen raumakustischen Bedingungen und sowohl für Schalldruckeffektivwertquadrate \bar{p}^2 und auch für Intensitätskomponenten durchzuführen.

Die für alle bisher untersuchten Schallfeldsituationen repräsentativen, in der Bildern 1 und 2 wiedergegebenen Ergebnisse zeigen, dass hierfür die nach ISO 9614 mit Gl.(8) für eine bestimmte Anzahl von Messpunkten N ermittelten Messunsicherheiten $\bar{\Delta L}$ gegenüber den tatsächlich bestimmten Messunsicherheiten signifikant zu hoch ausfallen, und damit der durch Gl.(1) von ISO 9614 geforderte Messaufwand erheblich reduziert werden kann. **Ein Maß für diese Aufwandsreduktion kann -eine positiv verlaufene Absicherung durch Untersuchungen weiterer Schallfeld-Mess-Parameter vorausgesetzt – durch den neue Ansatz der Gl.(3) mindest im Verhältnis von N zu \sqrt{N} erwartet werden.**

Diese erfreulichen Aussichten finden ihre Begründung in der ISO 9614 Formel, die grundsätzlich nicht korrelierte Schallfeldgrößen voraussetzt, was, wie mit [4], chapter 4, gezeigt, für praxisnahen Schallfelder **meist nicht zutrifft**.

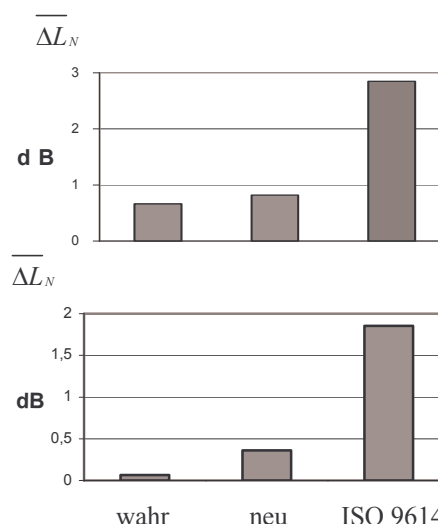


Bild 1: Abweichungen $\bar{\Delta L}$ der \bar{p}^2 -Mittelwerte berechnet für Modellschallfeld einer schwingenden Platte $L \times L$ der Ordnungszahl $n=1,5$ gemittelt über $k_L L = 1$ bis 30. Pfad: Viertelkreis $R=L$ mit $N=16$ (oberes Bild), Halbkugel $R=L$ mit $N=10$ (unteres Bild)

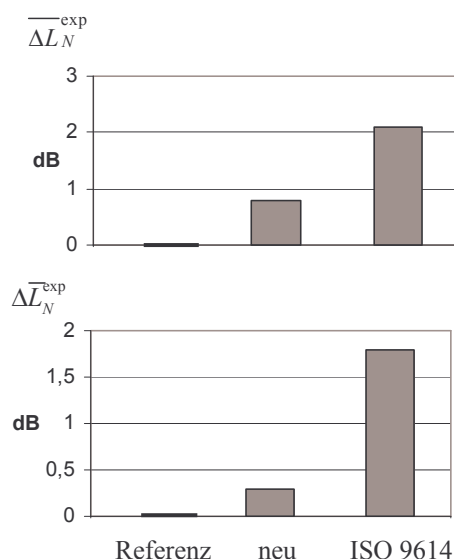


Bild 2: Abweichungen $\bar{\Delta L}$ der \bar{p}^2 -Mittelwerte gemessenen im Feld einer mit Multisinus angeregten Maschinenkapsel (oberes Bild), gemittelt über $f = 50\text{Hz} \dots 6,3 \text{ kHz}$. Pfad: Viertelkreis $R=1,4\text{m}$ mit $N=16$. Unterem Bild: desgleichen aber $\bar{\Delta L}$ einer aerodynamischen Schallquelle

Literatur

- [1] Hübner, G.: Analysis of errors in measurement of machine noise. JASA, Vol. 54, No. 4 (1973), S. 967-977
- [2] Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1. edition, 1993, ISBN 92-67-10188-9, published by Comite' International des Poids et Mesures (CIPM) Genf.
- [3] Hübner, G., Kandelaki, D.: Proceedings of the joint Congress CFA/ DAGA '04, Strassburg 2004
- [4] Hübner, G., Kandelaki, D.: Inter-Noise-05 Kongress, Rio de Janeiro, 2005 (CDROM)